

## 審査の結果の要旨

氏名 柳澤大地

修士 柳澤大地提出の論文は「Modeling and Analysis on Bottlenecks in Airplanes and Airports towards Achievement of Smoother Pedestrian Flow (和文題目：航空機と空港におけるスムーズな歩行者流実現に向けたボトルネックのモデル化と解析)」と題し、本文7章から成っている。

近年の国際交流の活性化に伴い、世界全体での航空機の需要は高まってきているが、それによる航空機や空港内の混雑や長蛇の待ち行列の形成といった問題に対する有効な解決策は未だ十分には得られていない。また航空機は90秒以内に全員が避難できるような設計である必要があるため、総避難時間の短縮方法が分かれば航空機の安全設計に貢献することができる。そこで本研究では、航空機や空港での人の流れを滞留させるボトルネックをモデル化して、それをシミュレーションと理論を用いて解析することにより人の流れをスムーズにする方法を考案し、その妥当性を実際の人を用いた実験により確認した。モデルは汎用性の高い一般的な数理モデルであるため、航空機や空港のボトルネックだけでなく建物からの避難やテーマパーク、鉄道の駅などの混雑解消に応用することもできる。

第一章は序論であり、混雑や待ち行列が航空機の離陸時間に及ぼす影響や人に与えるストレスについて述べ、航空機や空港におけるボトルネックの中でも、「出口」、「待ち行列」の二種類が重要であることを考察している。そして渋滞学と群集運動という本研究の基礎となる二つの学問について説明している。

第二章では、群集運動のセルオートマトンモデルであるフロアフィールドモデルについて簡単に解説している。

第三章及び第四章は、出口における流動係数の増加方法について書かれている。流動係数は、単位時間あたりに単位幅の出口を通過する人数を表し、建築分野における避難安全検証法でも用いられている重要な指標である。

第三章では、避難時の出口付近での人の振る舞いの効果をフロアフィールドモデルに導入し、クラスター近似により流動係数の理論式を導いた。この式を解析することにより、出口の幅が広い場合は競争状態にある群集の方が早く避難できるが、幅が狭い場合は協力状態の群集の方が早く避難できることが分かった。さらに出口が部屋の角にある場合、壁の効果により競争状態の流動係数が大きくなることも調べられた。

第四章では、退出過程で重要な現象である「複数人の同時衝突」と「出口手前での方向転換」の効果を第三章のモデルに導入し、そのモデルの妥当性を実

験により検証した。さらに障害物を出口前の適切な位置に置くと流動係数が大きくなることを実験により発見した。本論文のモデルを用いることで、この現象は障害物で人の自由な動きが制限され、大人数での衝突頻度が減少することが原因であると説明することができる。

第五章は、窓口が一つの場合の人の待ち行列について書かれている。現在通信の分野などで応用されている待ち行列理論は、人の排除体積効果が考慮されていないという点で人の待ち行列の設計に対しては必ずしも有効な理論とは言えない。そこで待ち行列理論に排除体積効果を導入し、待ち人数や待ち時間、人と人との間隔も考慮した行列の長さの確率分布や平均値を厳密に求め、それらが列を詰める時間のために増加してしまうことを数学的に示した。さらに論文では実際の人による実験も行い、上記の現象を確認することにも成功した。

第六章は、窓口が複数ある待ち行列における平均待ち時間の減少方法について書かれている。待ち行列理論に行列の先頭から窓口までの歩行距離の効果を導入しシミュレーションと理論解析を行うと、非常に混雑している場合や歩行時間に対してサービス時間が短い場合は、窓口ごとに待ち行列を形成する「並列型」の方が待ち行列を一つにまとめる「フォーク型」より平均待ち時間が短くなるという今までの待ち行列理論ではなかった結果を導出した。また待ち行列の先頭を待ち行列システムを中心に設置したり、窓口の手前で一人だけ待たせるようにしたりしたフォーク型は、平均待ち時間を短くできることも見出された。さらに人の精神的なストレスに関係のあるサービス順序についても考察が加えられ、トーナメント表のような形状の待ち行列システムを形成することにより、平均待ち時間と順序の入れ替わりが共に小さい待ち行列システムを実現できることも分かった。空港の入国審査会場のような審査時間が長い外国人と短い日本人が混在したケースを研究し、その流れの改善方法の提案をしている。

以上要するに、本論文は、航空機や空港内などのボトルネックである出口と待ち行列をモデル化し、そこにおける流動係数の増加方法と平均待ち時間の短縮方法、つまりは人の流れをスムーズにするための具体的な方法を提案している。これらの結果は、航空機や建物からの総避難時間や空港や駅などの待ち時間短縮や、航空機の定時運行などに応用することが可能であり、航空工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。